草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量

姜建湖 陈建明* 沈斌乾 潘 茜 孙丽慧 黄爱霞

（浙江省淡水水产研究所，农业部淡水渔业健康养殖重点实验室，浙江省鱼类健康与营养重点实验室，湖州 313001）

摘 要：配制核黄素含量分别为0.54、2.32、4.08、5.78、9.28和19.35 mg/kg的6种纯化饲料，投喂初始均重为（11.21±0.16） g的草鱼幼鱼8周，通过研究核黄素对其生长、肝胰脏中*D*–氨基酸氧化酶（*D*–AAO）与肠道中消化酶活力及体成分的影响，以确定草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量。每种饲料设3个重复，每个重复放养20尾鱼。结果表明：0.54和2.32 mg/kg 组草鱼幼鱼的成活率显著低于其他各组（$P<0.05$）；随着饲料中核黄素含量的增加，草鱼幼鱼的增重率、特定生长率、饲料效率、肝胰脏中*D*–AAO及肠道中消化酶活力均先升高后趋于稳定，当饲料中核黄素含量为5.78 mg/kg时，以上指标均达到最大值；5.78 mg/kg组的肝体比显著高于0.54 mg/kg组（$P<0.05$），但饲料中核黄素含量对脏体比、肥满度及全鱼的水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量无显著影响（$P>0.05$）。折线回归分析表明，草鱼幼鱼获得最佳生长时对饲料中核黄素的需要量为5.54 mg/kg；肝胰脏中*D*–AAO活力达到最佳时对饲料中核黄素的需要量为5.99 mg/kg。

关键词：草鱼；核黄素；需要量；生长；*D*–氨基酸氧化酶

核黄素（即维生素B_2）是动物必需的一种水溶性维生素，在体内以黄素单核苷酸（FMN）和黄素腺嘌呤二核苷酸（FAD）的组分形式存在。而FMN和FAD是体内许多氧化还原酶（如黄素蛋白酶）的辅基，广泛参与体内各种氧化还原反应，起到递氢的作用。因此，核黄素能促进糖、脂肪和蛋白质的代谢，对维持皮肤、黏膜和视觉的正常机能均有一定作用。当饲料中核黄素供应不足时，鱼体会出现缺乏症。鱼类缺乏核黄素后的症状不尽相同，仅有的共同症状为生长不良和厌食，其他的一些缺乏症状为特定研究对象所特有，包括高死亡率、游泳不协调、畏光、白内障、触鳍、短体和皮肤颜色变黑等[1]。

截至目前，国内外已有不少学者对鱼类核黄素的需要量进行了研究工作，鲤鱼（*Cyprinus carpio*）[2]、虹鳟（*Oncorhynchus mykiss*）[2-4]、奥利亚罗非鱼（*Oreochromis aureus*）[5]、杂交罗非鱼（*Oreochromis mossambicus*×*Oreochromis niloticus*）[6]、斑点叉尾鮰（*Ictalurus punctatus*）[7]、黄尾鰤（*Seriola quinqueradiata*）[8]、杂交条纹鲈（*Morone chrysops*×*Morone saxatilis*）[9]、大黄鱼（*Pseudosciaena crocea* R.）[10]、鲈鱼（*Lateolabrax japonicus*）[10]、异育银鲫（*Carassius auratus gibelio*）[11]和宝石鲈（*Scortum barcoo*）[12]等的核黄素需要量已被确定，其需要量范围在 2.7~11.0 mg/kg 之间。*D*–氨基酸氧化酶（*D*–AAO）是一种以 FAD 为辅基的典型黄素蛋白酶，可氧化 *D*–氨基酸的氨基生产相应的酮酸和氨[13]。在鱼类的肝胰脏中，该酶具有较高的活力，且其活力与核黄素有密切关系，因此，肝胰脏中 *D*–AAO 活力被认为是评价鱼类核黄素需要量的敏感指标[14]。草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*）作为我国传统的四大家鱼之一，其养殖产量位居淡水鱼类之首，在水产养殖业中占有重要地位。本试验以草鱼幼鱼为对象，研究饲料中核黄素含量对其生长性能、肝胰脏中 *D*–AAO 活力、肠道中消化酶活力及体成分的影响，旨在探讨草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量，以期为提升草鱼配合饲料的开发技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

本试验以无维生素酪蛋白和明胶为蛋白质源，鱼油及玉米油为脂肪源，糊精为糖源配制成基础饲料（表 1）。在每千克基础饲料中分别添加 0、2、4、6、10 和 20 mg 的核黄素（Sigma，美国），共配制 6 种等氮等能的纯化饲料。经高效液相色谱法[15]实测饲料中核黄素含量分别为 0.54、2.32、4.08、5.78、9.28 和 19.35 mg/kg。试验饲料制作时，先将原料充分粉碎，全部能通过 60 目筛，再按配方比例配制，用搅拌机充分混匀，加适量水，用绞肉机挤压成径粒为 1.2 mm 的长条，在常温下风干，最后再制成粒径为 0.5~1.2 mm 的颗粒料，置–20 ℃冰柜中备用。

表 1　基础饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
酪蛋白 Casein (vitamin free)	34.0
明胶 Gelatin	3.0
糊精 Dextrin	44.7
鱼油 Fish oil	3.0
玉米油 Corn oil	3.0
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	1.8
矿物质预混料 Mineral premix[2)]	5.0
氯化胆碱 Choline chloride	0.5
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	5.0
合计 Total	100.0
营养水平 Nutrient levels	
干物质 Dry matter	90.37
粗蛋白质 Crude protein	35.67
粗脂肪 Crude lipid	4.67
粗灰分 Ash	5.33

[1)]每千克维生素预混料含有 One kilogram of vitamin premix contained the following：VA 0.80 g，VD_3 0.06 g，VE 4.00 g，VK_3 8.00 g，包膜维生素 C coated VC 20.00 g，硫胺素 thiamin 2.00 g，泛酸 pantothenic acid 6.00 g，吡哆醇 pyridoxine 2.00 g，叶酸 folic acid 0.50 g，尼克酸 niacin 15.00 g，VB_{12} 0.02 g，肌醇 inositol 40.00 g，微晶纤维素 microcrystalline cellulose 901.62 g。

[2)]每千克矿物质预混料含有 One kilogram of mineral premix contained the following：$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 15 g，$CuSO_4 \cdot H_2O$ 0.3 g，$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 10 g，$MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.5 g，NaCl 30 g，$MgSO_4$ 40 g，$Ca(H_2PO_4)_2$ 400 g，KI 0.05 g，Na_2SeO_3 0.005 g，$CoCl \cdot 6H_2O$ 0.5 g，沸石粉 zeolite powder 503.645 g。

1.2　饲养管理

养殖试验在室内流水养殖系统中进行。试验用鱼为自行培育的苗种，先用基础饲料（不添加核黄素）驯养 2 周后在挑选体格健壮、大小均匀、初始均重为（11.21±0.16） g 的草鱼

幼鱼 360 尾，随机放养到 18 个圆柱形玻璃钢水槽中，每只水槽放鱼 20 尾，内盛水 200 L，每种试验饲料饲喂 3 个水槽，试验期为 8 周。早（09:00）、晚（15:00）各投喂 1 次，日投喂量为鱼体重的 4%~6%，视摄食和幼鱼生长情况作适当调整。整个饲养期间采用流水养殖，每个水槽水流量约为 1.0 L/min，水温 25~30 ℃，pH 7.3~7.6，溶解氧浓度 6.2~7.4 mg/L，按但浓度 0.05~0.10 mg/L，亚硝酸盐氮浓度 0.02~0.07 mg/L。

1.3 样品采集及分析

试验结束后停喂 24 h，然后称量各水槽内的鱼总重和记录剩余尾数，并从各水槽内随机取 5 尾用于全鱼营养成分分析。剩余鱼逐一测量体长和体重后，置冰盘上解剖取其内脏、肝胰脏及全肠，用于计算脏体比、肝体比及肥满度等指标；保留肝胰脏及全肠样品，剔除脂肪和肠道内容物，置–70 ℃冰箱中保存，用于测定肝胰脏中 *D*–AAO 活力及全肠中消化酶活力。

试验饲料和全鱼营养成分测定参照 AOAC（1984）[16]的方法进行：105 ℃常压干燥法测定水分含量；凯氏定氮法测定粗蛋白质含量；用无水乙醚为溶剂，索氏抽提法测定粗脂肪含量；箱式电阻炉 550 ℃灼烧法测定粗灰分含量。

解冻肝胰脏和全肠，用滤纸吸干水分后称重，加入 10 倍的磷酸盐缓冲溶液（PBS），用玻璃匀浆器在冰浴中手工匀浆。随后在 4 ℃下 10 000 r/min 离心 10 min，获得的上清液即为粗酶液，置于 4 ℃冰箱中待用。*D*–AAO 活力参照 Nagata 等[17]的酮酸法测定，定义为：在 pH 8.3、37 ℃条件下，每克组织蛋白质中每分钟生成 1 μmol 的丙酮酸为 1 个活力单位（U），以 U/g prot 表示。蛋白酶活力采用福林试剂法[18]测定，定义为：在 pH 7.5、37 ℃条件下，每分钟酶解酪蛋白生成 1 μg 酪氨酸为 1 个活力单位（U），以 U/mg prot 表示。淀粉酶活力采用 Bernfeld 法[19]测定，定义为：在 pH 6.9、25 ℃条件下，每分钟酶解可溶性淀粉生成 1 μmol 麦芽糖为 1 个活力单位（U），以 U/mg prot 表示。脂肪酶活力采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定，定义为：在 37 ℃条件下，每分钟酶解 1 μmol 底物为 1 个活力单位（U），以 U/g prot 表示。粗酶液中蛋白质浓度的测定采用考马斯亮蓝法[20]，以牛血清白蛋白为基准

物。

1.4 计算公式

增重率（weight gain ratio，WGR，%）=100×（终末均重–初始均重）/初始均重；

特定生长率（specific growth rate，SGR，%/d）=100×（ln 终末均重–ln 初始均重）/试验天数；

成活率（survival rate，SR，%）=100×终末鱼尾数/初始鱼尾数；

饲料效率（feed efficiency rate，FER）=（终末鱼总重+死鱼总重–初始鱼总重）/总投喂量；

脏体比（viscerasomatic index，VSI，%）=100×内脏重/体重；

肝体比（hepatosomatic index，HSI，%）=100×肝胰脏重/体重；

肥满度（condition factor，CF，g/cm^3）=100×体重/体长^3。

1.5 统计分析

试验数据采用平均值±标准差（mean±SD）表示，采用 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），若差异显著再采用 Duncan 氏法进行多重比较，$P<0.05$ 为差异显著。以增重率及肝胰脏中 *D*–AAO 活力为评价指标进行折线回归模型分析，确定草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量。

2 结果与分析

2.1 饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼生长性能、饲料效率及形体指标的影响

投喂核黄素含量为 0.54 和 2.32 mg/kg 饲料的草鱼幼鱼，在养殖中后期出现游泳失调、不正常抽搐，继而死亡，且摄食差、生长相对缓慢。由表 2 可知，随着饲料中核黄素含量的升高，草鱼幼鱼的成活率先显著升高（$P<0.05$），后趋于稳定（$P>0.05$）。增重率、特定生长率及饲料效率均随着饲料中核黄素含量的增加而呈现出先升高后稳定的趋势，且当饲料中核黄素含量为 5.78 mg/kg 及以上时，以上指标均无显著变化（$P>0.05$）。饲料中核黄素含量能

显著影响草鱼幼鱼的肝体比（*P*<0.05），其中以核黄素含量为 5.78 mg/kg 时肝体比最大，其值显著高于 0.54 mg/kg 组（*P*<0.05）。饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼的脏体比和肥满度无显著影响（*P*>0.05）。以增重率为评价指标，应用折线回归模型分析得出草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量为 5.54 mg/kg（图 1）。

表 2　饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼生长性能、饲料效率及形体指标的影响

Table 2　Effects of dietary riboflavin content on growth performance, feed efficiency rate and body profile indices of juvenile grass carp

项目	饲料中核黄素含量 Dietary riboflavin content/(mg/kg)					
Items	0.54	2.32	4.08	5.78	9.28	19.35
初始均重 IBW/g	11.07±0.13	11.12±0.15	11.22±0.22	11.31±0.11	11.19±0.16	11.33±0.12
终末均重 FBW/g	34.09±1.32^{a}	45.51±3.02^{b}	49.10±1.80^{bc}	54.27±3.72^{d}	53.30±1.73^{cd}	51.02±1.52^{cd}
增重率 WGR/%	207.80±8.57^{a}	309.17±26.72^{b}	337.65±18.27^{bc}	379.72±29.57^{d}	376.33±20.10^{cd}	350.38±16.36^{cd}
特定生长率 SGR/(%/d)	2.01±0.05^{a}	2.51±0.12^{b}	2.64±0.08^{bc}	2.80±0.11^{c}	2.79±0.08^{c}	2.69±0.07^{c}
成活率 SR/%	61.67±2.89^{a}	83.33±7.64^{b}	91.67±2.89^{c}	91.67±2.89^{c}	93.33±2.89^{c}	91.67±2.89^{c}
饲料效率 FER	0.45±0.05^{a}	0.58±0.02^{b}	0.66±0.05^{c}	0.69±0.04^{c}	0.67±0.03^{c}	0.65±0.04^{c}
脏体比 VSI/%	8.34±0.69	8.54±0.81	8.28±0.25	8.49±0.56	9.15±1.08	8.22±0.45
肝体比 HSI/%	1.55±0.32^{a}	1.60±0.08^{ab}	1.80±0.04^{ab}	2.00±0.09^{b}	1.82±0.39^{ab}	1.89±0.19^{ab}
肥满度 CF/(g/cm^{3})	1.92±0.02	1.97±0.11	1.90±0.05	1.99±0.06	1.97±0.10	1.93±0.06

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

Values with the different letter superscripts in the same row mean significant different (*P*<0.05). The same as below.

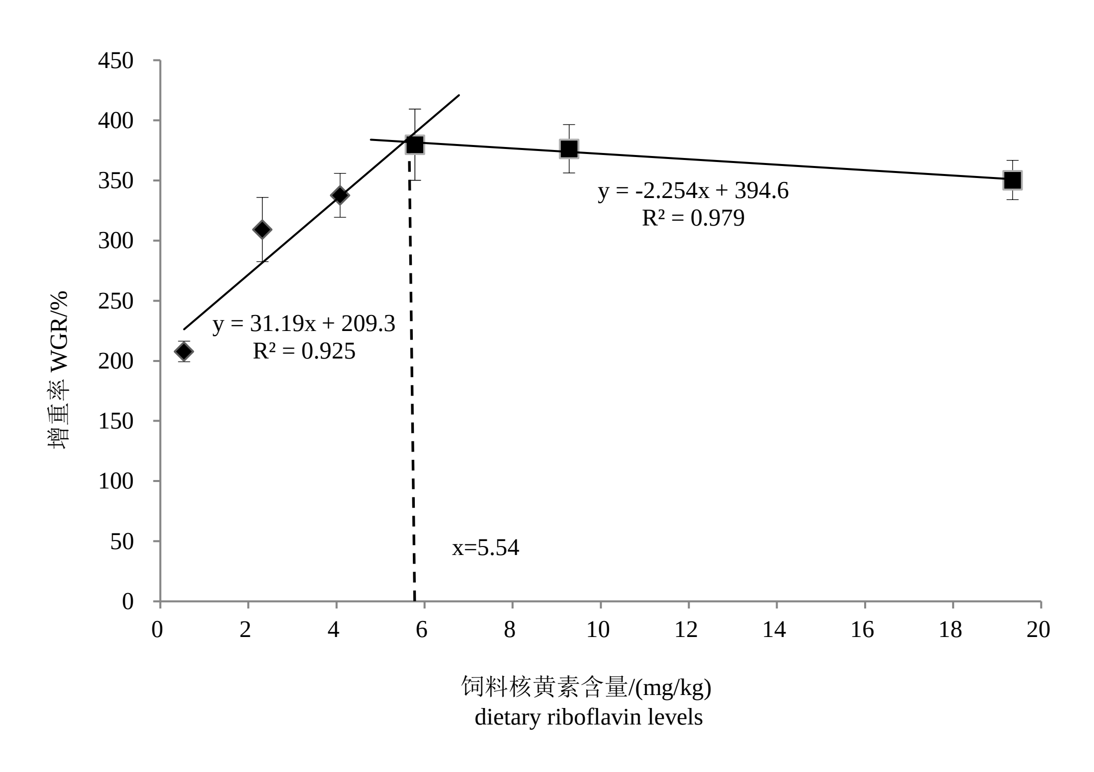


图 1　饲料中核黄素含量与草鱼幼鱼增重率的关系

Fig.1　Relationship between dietary riboflavin content and WGR of juvenile grass carp

2.2　饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼肝胰脏中 *D*–AAO 活力及肠道中消化酶活力的影响

由表 3 可知，草鱼幼鱼肝胰脏中 *D*–AAO 活力，肠道中蛋白酶、淀粉酶及脂肪酶活力均随饲料中核黄素含量的增加呈先升高后稳定的趋势，当饲料中核黄素含量为 5.78 mg/kg 时，以上酶活指标均达到最大值。以肝胰脏中 *D*–AAO 活力为评价指标，应用折线回归模型分析得出草鱼幼鱼对饲料中核黄素的需要量为 5.99 mg/kg（图 2）。

表 3　饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼肝胰脏中 D–AAO 及肠道中消化酶活力的影响

Table 3　Effects of dietary riboflavin content on hepatopancreas *D*–amino acid oxidase and intestinal digestive enzyme activities of juvenile grass carp

项目 Items	饲料中核黄素含量 Dietary riboflavin content/(mg/kg)					
	0.54	2.32	4.08	5.78	9.28	19.35
D–氨基酸氧化酶 *D*–AAO/(U/g prot)	2.32±0.10^{a}	2.89±0.06^{b}	3.13±0.08^{c}	3.77±0.12^{d}	3.71±0.07^{d}	3.63±0.10^{d}
蛋白酶	42.62±2.13^{a}	55.68±3.08^{b}	64.17±1.66^{c}	70.30±2.06^{d}	69.13±2.39^{d}	68.87±2.85^{d}

Protease/(U/mg prot)						
淀粉酶 Amylase/(U/mg prot)	29.86±1.77[a]	39.37±1.22[b]	42.45±1.46[c]	43.58±1.39[c]	42.61±1.82[c]	42.54±1.67[c]
脂肪酶 Lipase/(U/g prot)	84.89±4.68[a]	98.56±4.27[b]	101.74±3.92[b]	102.88±4.39[b]	100.49±2.52[b]	101.27±4.05[b]

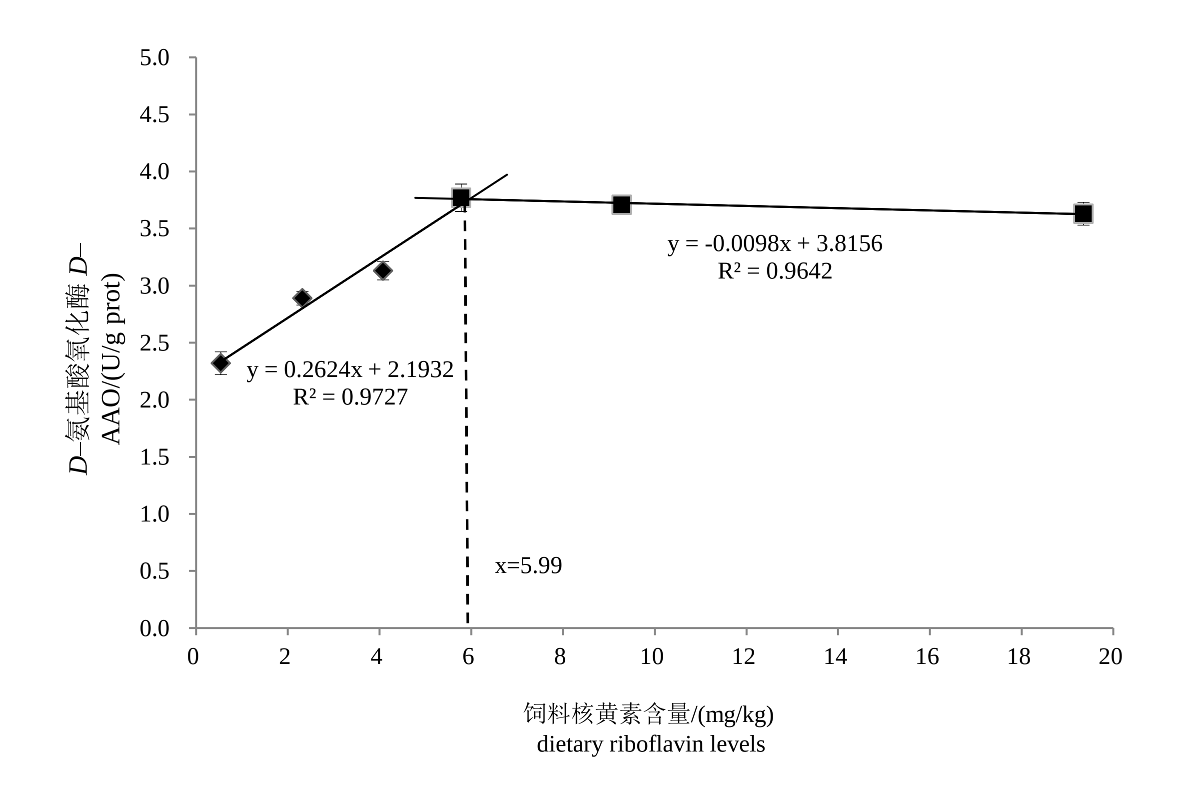


图 2　饲料中核黄素含量与草鱼幼鱼肝胰脏中 *D*–AAO 活力的关系

Fig.2　Relationship between dietary riboflavin content and hepaticpancreas *D*–amino acid oxidase activity of juvenile grass carp

2.3　饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼体成分的影响

由表 4 可知，饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼全鱼水分、粗蛋白质、粗脂肪及粗灰分含量均无显著影响（*P*>0.05）。

表 4　饲料中核黄素含量对草鱼幼鱼体成分的影响

Table 4　Effects of dietary riboflavin content on body composition of juvenile grass carp %

项目	饲料中核黄素含量 Dietary riboflavin content/(mg/kg)

Items	0.54	2.32	4.08	5.78	9.28	19.35
水分 Moisture	74.83±1.01	74.48±1.26	74.13±0.76	73.40±0.61	73.38±0.98	73.38±0.78
粗蛋白质 Crude protein	14.55±0.71	14.87±0.80	15.00±0.47	14.45±0.25	13.93±0.16	14.63±1.97
粗脂肪 Crude lipid	7.56±1.13	7.77±0.97	7.81±1.13	8.89±0.55	9.21±0.72	8.67±1.08
粗灰分 Ash	3.08±0.26	2.86±0.29	2.93±0.11	2.89±0.15	2.83±0.11	2.83±0.14

3 讨 论

本试验中核黄素缺乏的草鱼幼鱼出现了厌食及生长相对缓慢的症状，这与已报道的大多数鱼类研究结果[1]相一致，该结论进一步证实了生长不良和厌食可能为鱼类核黄素缺乏的典型症状。核黄素以 FMN 及 FAD 形式广泛参与体内各种氧化还原反应，当其缺乏时，会影响糖、脂肪和蛋白质的代谢，从而可能影响鱼类的摄食和生长。在养殖中后期，草鱼幼鱼出现游泳失调、不正常抽搐，继而引发死亡，类似症状曾在虹鳟[4]中有过报道，其他诸如畏光、白内障、触鳍、短体和皮肤颜色变黑等症状尚未在本试验中发现，这可能与鱼的种类、规格和试验条件的不同有关。

草鱼幼鱼核黄素缺乏导致生长不良同时引起饲料效率下降和死亡率升高，类似结果在鲤鱼[2]、虹鳟[2-4]和杂交条纹鲈[9]的研究中也有报道。本试验得出草鱼幼鱼获得最佳生长时对饲料中核黄素的需要量为 5.54 mg/kg，这与研究得出的宝石鲈（5.73 mg/kg）[12]的最佳生长需要量相近，略高于异育银鲫（3.76 mg/kg）[11]、杂交条纹鲈（4.10 mg/kg）[9]、斑点叉尾鮰（4.30 mg/kg）[7]及鲈鱼（4.89 mg/kg）[10]的最佳生长需要量，略低于大黄鱼（6.23 mg/kg）[10]的最佳生长需要量。鱼类生长所需的核黄素量可能与品种、规格、试验条件及评价指标等因素有关。此外，Serrini 等[7]还认为合适的饲料营养组成能够降低鱼类对核黄素的需要量。

D–AAO 作为一种黄素蛋白酶，其活力已被很多研究者用于确定鱼类核黄素的需要量[4-5,7,9-12]。本试验中，饲料核黄素含量显著影响了草鱼幼鱼肝胰脏中 *D*–AAO 活力，并且较好地符合折线模型，这说明肝胰脏中 *D*–AAO 活力是评价草鱼幼鱼核黄素需要量的敏感指标。该结果与虹鳟[4]、奥利亚罗非鱼[5]、斑点叉尾鮰[7]、杂交条纹鲈[9]、鲈鱼[10]、大黄鱼[10]、异

育银鲫[11]及宝石鲈[12]的研究结果相一致。*D*–AAO 具有广泛的底物特异性，除了酸性氨基酸 *D*–谷氨酸和 D–天门冬氨酸外，能使其他所有的 *D*–氨基酸发生不同程度的氧化脱氨作用，从而完成氨基酸代谢[13]。当饲料中核黄素缺乏时，以 FAD 为辅基的 *D*–AAO 参与的氧化脱氨反应将会受阻，进而影响到鱼类的正常代谢。本试验中草鱼幼鱼生长趋势与肝胰脏中 *D*–AAO 活力变化趋势基本一致，这可能是饲料核黄素含量对肝胰脏中 *D*–AAO 活力产生影响后间接影响到了草鱼幼鱼的生长。

肠道在无胃鱼的营养消化和吸收中扮演着重要角色，而其消化能力与消化酶活力密切相关[21]。草鱼作为无胃鱼，本试验特此研究了饲料核黄素含量对草鱼幼鱼肠道中蛋白酶、淀粉酶及脂肪酶活力的影响。截止目前，仅有 Li 等[22]在建鲤（*Cyprinus carpio* var. Jian）的研究中有相关报道，本试验研究结果基本与其一致，即随着饲料中核黄素含量的增加，肠道中蛋白酶、淀粉酶及脂肪酶活力均先升高而后趋于稳定。Li 等[22]认为这可能是核黄素含量增加导致鱼体肝胰脏生长和发育的结果，因为对于大多数鱼类来说都不存在腺窝，其消化酶均产自于肝胰脏，故而消化酶活力与肝胰脏的生长和发育是密切相关的，本试验中草鱼幼鱼肝体比随饲料中核黄素含量的增加先升高后趋于稳定也印证了此点。水产动物对食物的消化主要是依赖消化酶的催化分解作用，因而消化酶活力直接影响到饲料的转化效率，进而影响鱼体的生长[23]。本试验中草鱼幼鱼肠道中 3 种消化酶的活力变化趋势与生长趋势基本一致，这可能是饲料核黄素含量对消化酶产生影响后间接影响到了草鱼幼鱼的生长。

4 结 论

在本试验条件下，饲料中核黄素含量可以提高草鱼幼鱼的生长性能，改善饲料利用效率，其获得最佳生长时对饲料中核黄素的需要量为 5.54 mg/kg，而以肝胰脏中 *D*–AAO 活力为评价指标时，其对饲料中核黄素的需要量为 5.99 mg/kg。

参考文献：

[1] NRC.Nutrient requirements of fish[S].Washington,D.C.:National Academies Press,1993.

[2] TAKEUCHI L,TAKEUCHI T,OGINO C.Riboflavin requirements in carp and rainbow trout[J].Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,1980,46(6):733–737.

[3] HUGHES S G,RUMSEY G L,NICKUM J G.Riboflavin requirement of fingerling rainbow trout[J].The Progressive Fish-Culturist,1981,43(4):167–172.

[4] AMEZAGA M R,KNOX D.Riboflavin requirements in on–growing rainbow trout,*Oncorhynchus mykiss*[J].Aquaculture,1990,88(1):87–98.

[5] SOLIMAN A K,WILSON R P.Water–soluble vitamin requirements of tilapia.2.Riboflavin requirement of blue tilapia,*Oreochromis aureus*[J].Aquaculture,1992,104(3/4):309–314.

[6] LIM C,LEAMASTER B,BROCK J A.Riboflavin requirement of fingerling red hybrid tilapia grown in seawater[J].Journal of the World Aquaculture Society,1993,24(4):451–458.

[7] SERRINI G,ZHANG Z,WILSON R P.Dietary riboflavin requirement of fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J].Aquaculture,1996,139(3/4):285–290.

[8] SHIMENO S.Yellowtail,*Seriola quinqueradiata*[M]//WILSON R P.Handbook of nutrition requirement of finfish.Boca Raton,FL:CRC Press,1991:181–191.

[9] DENG D F,WILSON R P.Dietary riboflavin requirement of juvenile sunshine bass (*Morone Chrysops* ♀×*Morone saxatilis* ♂)[J].Aquaculture,2003,218(1/2/3/4):695–701.

[10] 张春晓.大黄鱼、鲈鱼主要 B 族维生素和矿物质–磷的营养生理研究[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2006:45–56.

[11] 王锦林.异育银鲫对维生素 B_2,维生素 B_6 和烟酸的需求量的研究[D].硕士学位论文.武汉:中国科学院水生生物研究所,2007:34–44.

[12] 宋理平.宝石鲈营养需求的研究[D].博士学位论文.济南:山东师范大学,2009:96–104.

[13] 郭姣洁,薛永常,徐书景,等.*D*–氨基酸氧化酶研究进展[J].中国生物工程杂志,2010,30(11):106–111.

[14] WOODWARD B.Sensitivity of hepatic *D*–amino acid oxidase and glutathione reductase to the riboflavin status of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J].Aquaculture,1983,34(3/4):193–201.

[15] HASASSELMANN C,FRANCK D,GRIMM P,et al.High–performance liquid chromatographic analysis of thiamin and riboflavin in dietetic foods[J].Journal of Micronutrient Analysis,1989,5(4):269–279.

[16] AOAC.Official methods of analysis[S].14th ed.Washington,D.C.:AOAC,1984:152–163.

[17] NAGATA Y,SHIMOJO T,AKINO T.Two spectrophotometric assays for *D*–amino acid oxidase:for the study of distribution patterns[J].International Journal of Biochemistry,1988,20(11):1235–1238.

[18] 中山大学生物系生化微生物教研室.生化技术导论[M].北京:人民教育出版社,1979:52–56.

[19] BERNFELD P.Amylases α and β:colorimetric assay method[M]//COLOWICK S P,KAPLAN N O.Methods in enzymology.New York: Academy Press Inc.,1955:149–158.

[20] BRADFORD M M.A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding[J].Analytical Biochemistry,1976,72(1/2):248–254.

[21] LIN Y,ZHOU X Q.Dietary glutamine supplementation improves structure and function of intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J].Aquaculture,2006,256(1/2/3/4):389–394.

[22] LI W,ZHOU X Q,FENG L,et al.Effect of dietary riboflavin on growth,feed utilization,body composition and intestinal enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J].Aquaculture Nutrition,2010,16(2):137–143.

[23] 麦康森.水产动物营养与饲料学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2011:244–251.

Dietary Riboflavin Requirement of Juvenile Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*)

JIANG Jianhu CHEN Jianming* SHEN Binqian PAN Qian SUN Lihui HUANG Aixia

(*Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Agriculture Ministry Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Huzhou* 313001, *China*)

Abstract: A feeding trial was carried out to estimate the dietary riboflavin requirement of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) based on growth performance, hepatopancreas *D*–amino acid oxidase (*D*–AAO) and intestinal digestive enzyme activities and body composition. Six purified diets were formulated to contain 0.56, 2.32, 4.08, 5.78, 9.28 and 19.35 mg/kg riboflavin, respectively. Juvenile grass carp with an initial body weight of (11.21±0.16) g were fed the diets for 8 weeks, and each diet had 3 replicates with 20 fish per replicate. The results showed as follows: survival rate in 0.56 and 2.32 mg/kg groups was significantly lower than that in other groups (P<0.05). Weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), feed efficiency rate (FER), hepatopancreas *D*–AAO and intestinal digestive enzyme activities of fish were firstly increased and then seemed to stabilize with increase dietary riboflavin content, and the biggest values of them were appeared when dietary riboflavin content was 5.78 mg/kg. Hepatosomatic index (HSI) in 5.78 mg/kg group was significantly higher than that in 0.54 mg/kg group (P<0.05). Viscerasomatic index (VSI), condition factor (CF) and the contents of whole body moisture, crude protein, crude lipid and ash were not significantly affected by dietary riboflavin content (P>0.05).

---

*Corresponding author, professorate senior engineer, E–mail: aqua_labjm@163.com (责任编辑 菅景颖)

Broken line regression analysis shows that dietary riboflavin requirement of juvenile grass carp has the best growth and hepatopancreas *D*–AAO activity is 5.54 and 5.99 mg/kg, respectively.

Key words: grass carp （*Ctenopharyngodon idellus*）; riboflavin; requirement; growth; *D*–amino acid oxidase